



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002327212 A**(43) Date of publication of application: **15.11.02**

(51) Int. Cl.

C21D 1/42
C21D 8/02
H05B 6/10
// C22C 38/00

(21) Application number: **2002053229**(22) Date of filing: **28.02.02**(30) Priority: **28.02.01 JP 2001054143**(71) Applicant: **NKK CORP**

(72) Inventor: **WADA NORIMI**
TSUJI AKIYOSHI
ISHIKAWA NOBUYUKI

**(54) METHOD FOR MANUFACTURING SOUR
 RESISTANT STEEL SHEET FOR LINE PIPE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing a sour resistant steel sheet for a line pipe, which prevents degradation of strength and DWTT(drop weight tear test) characteristics, and can reduce the surface hardness.

SOLUTION: The method for manufacturing the sour resistant steel sheet for the line pipe through accelerated cooling or direct quenching after hot rolling, comprises hot rolling steel which contains, by

mass%, 0.02-0.08% C, and has CEQ value of 0.4% or less, which is expressed by $CEQ = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$, acceleration cooling or directly quenching the steel sheet, and tempering it with rapid heating under condition of power density of 100 W/cm² or higher, by using a solenoid type of an induction heating device having a frequency of 200-2,000 Hz. It is also characterized by the heated temperature on the steel surface in the range of 500-680°C during tempering, or the maximum hardness of the surface part of the steel sheet of less than Hv 220 and a yield strength of 413 MPa or more.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-327212

(P2002-327212A)

(43)公開日 平成14年11月15日(2002. 11. 15)

(51)IntCl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル(参考)
C 2 1 D 1/42		C 2 1 D 1/42	E 3 K 0 5 9
	8/02		C 4 K 0 3 2
H 0 5 B 6/10	3 8 1	H 0 5 B 6/10	3 8 1
// C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 F

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2002-53229(P2002-53229)

(22)出願日 平成14年2月28日(2002. 2. 28)

(31)優先権主張番号 特願2001-54143(P2001-54143)

(32)優先日 平成13年2月28日(2001. 2. 28)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004123

日本鋼管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72)発明者 和田 典巳

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(72)発明者 辻 章嘉

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(74)代理人 100116230

弁理士 中濱 泰光

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法

(57)【要約】

【課題】 強度の低下とDWT特性の劣化を防止し、表面硬さの低減が可能な耐サワーラインパイプ用高強度鋼板の製造方法を提供する。

【解決手段】 熱間圧延に引続き加速冷却又は直接焼入れを行う耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法において、質量%にて、C:0.02~0.08%を含有し、 $CEQ = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ で表されるCEQ値が0.4%以下である鋼を熱間圧延し、加速冷却または直接焼き入れ後の鋼板に、周波数:200~2000Hzのソレノイド型誘導加熱装置を用いて、電力密度100W/cm²以上の条件で急速加熱して焼戻しを施す耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法。さらに焼戻し時の鋼板表面の加熱温度が500~680℃の範囲であること、又は、鋼板表層部最高硬さがHv220未満、降伏強度が413MPa以上とすることもできる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 熱間圧延に引き続き加速冷却または直接焼き入れを行う耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法において、質量%にて、 $C: 0.02 \sim 0.08\%$ を含有し、 $CEQ = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ で表されるCEQ値が 0.4% 以下である鋼を熱間圧延し、加速冷却または直接焼き入れ後の鋼板に、周波数： $200 \sim 2000\text{Hz}$ のソレノイド型誘導加熱装置を用いて、電力密度 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 以上の条件で急速加熱して焼戻しを施すことを特徴とする耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法。

【請求項2】 焼戻し時の鋼板表面の加熱温度が $500 \sim 680^\circ\text{C}$ の範囲であることを特徴とする、請求項1に記載の耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法。

【請求項3】 鋼板表層部最高硬さがHv220未満、降伏強度が 413MPa 以上であることを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】この発明は、熱間圧延に引続き加速冷却又は直接焼き入れを行う耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、優れた耐サワー性を有するラインパイプは、低C-極低S-Ca処理系の鋼を基本成分として、各種開発されている。近年X60ないしX65クラスの強度レベルの鋼板が開発されており、板厚に応じて合金成分の適正化、加速冷却条件の最適化が図られている。

【0003】耐サワーラインパイプの表面硬さを低減する技術として、特開昭51-148611号公報には焼き入れ後の鋼材を高周波誘導加熱により焼き戻しを行う技術が開示されている。これによれば、焼き入れによって硬化した表層部を軟化することが可能であるというものである。

【0004】また、特開平11-302776号公報には、耐サワー性と優れたHAZ靱性を有するAPI規格X60以上の高強度鋼板およびその製造法が提案されている。この技術では、低C-低Mn-Nb-Ti系の基本成分にS、Mg、CaおよびO量を厳格に制限した鋼を制御圧延した後、加速冷却することにより鋼板を製造する。効果としては、HAZ靱性、耐HIC性に優れた高強度鋼板(X60以上)の製造が可能となるというものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】耐サワー性の観点から、ラインパイプの表面硬さには制限があり、規格等により規制されている。例えば、NACE規格では $Hv \leq 248$ と規定されている。また、近年では表面硬さ規定がさらに厳しくなり、DNV規格では $Hv \leq 220$ と規定されている。さらに、ラインパイプ用の原板としては、パイプ成型時の

加工硬化を考慮して、これらの値より、Hv10～20ポイント程度低目に製造する必要がある。特開昭51-148611号公報記載の技術は、焼き入れによって硬化した表層部を軟化することが可能であるが、高々Hv220程度が限界である。また、実施例にあるように、誘導加熱コイルの周波数が 5000Hz と高く鋼板のごく表層部が加熱されるため、表層部は軟化するが少し内部で硬度が高い部分は軟化できない。この公報には高周波と低周波の誘導加熱コイルを併用する方法も提案されているが、この場合、内部まで加熱されるため、炭化物等の析出によって内部の硬度が上昇するだけでなく、DWT特性の劣化を生じることが問題である。

【0006】さらに、この公報に開示された技術は、C含有量の高い鋼材を対象としているため、HAZ靱性に優れる低C系の鋼材に対して適用できない。低C系の鋼材に適用した場合、焼き戻しによる炭化物の析出量が少ないため、中心部の硬度が低下し、さらにDWT特性が大幅に劣化するという問題もある。

【0007】その一方で、ラインパイプの強度については、X60では $YS \geq 413\text{MPa}$ 、 $TS \geq 517\text{MPa}$ 、また、X65では $YS \geq 448\text{MPa}$ 、 $TS \geq 565\text{MPa}$ が、それぞれ規格から要求されている。ラインパイプ用の原板としては、パイプ成型時のバウシinger効果による強度低下を考慮して、これらの値より、 $20 \sim 50\text{MPa}$ 高目の強度を確保する必要がある。

【0008】低C系の耐サワーラインパイプ用鋼板において、強度と表面硬さを共に満足させることは、従来技術およびその延長上の技術では容易ではない。すなわち、鋼の化学成分および圧延/加速冷却等の製造条件の最適化だけでは、X60～X65の強度の確保と表面硬さの低減を両立させることは困難である。表面硬さの低減については、通常ガス燃焼炉や、特開昭51-148611号公報記載の高周波誘導加熱による焼戻し処理でも可能であるが、強度の低下並びにDWT特性の劣化が生じるという問題がある。

【0009】本発明は以上の問題点を解決し、強度の低下とDWT特性の劣化を防止しつつ、表面硬さを低減させることが可能なX60クラスおよびそれ以上の耐サワーラインパイプ用高強度鋼板の製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の課題は、次の発明により解決される。その発明は、熱間圧延に引続き加速冷却又は直接焼き入れを行う耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法において、質量%にて、 $C: 0.02 \sim 0.08\%$ を含有し、 $CEQ = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ で表されるCEQ値が 0.4% 以下である鋼を熱間圧延し、加速冷却または直接焼き入れ後の鋼板に、周波数： $200 \sim 2000\text{Hz}$ のソレノイド型誘導加熱装置を用いて、電力密度 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 以上の条件で急速加熱して焼戻しを施す

ことを特徴とする耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法である。

【0011】上記の発明において、さらに焼戻し時の鋼板表面の加熱温度が500～680℃の範囲であることを特徴とする耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法とすることもできる。

【0012】また、これらの発明において、鋼板表層部最高硬さがHv220未満、降伏強度が413MPa以上であることを特徴とする耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法とすることもできる。

【0013】本発明は、前述の課題を解決するために、加速冷却または直接焼き入れによって製造される鋼板の表面硬度を軟化させる方法について鋭意研究を行った結果なされた。その過程で、周波数の低いソレノイド型誘導加熱装置によって、大電力密度の急速加熱焼戻しを行うことによって、鋼板中心部の過度の温度上昇を防ぎながら、表面のみを加熱できること、そして焼戻し時の加熱温度を一定範囲に制限することで、表層部の硬度を効果的に低減できるという知見が得られた。

【0014】以下、本発明の耐サワーラインパイプ用鋼板の製造方法について詳しく説明する。まず、本発明においては、重量%にて、C：0.02～0.08%を含有し、 $CEQ = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ で表されるCEQ値が0.4%以下である鋼を用いる。

C：0.02～0.08%

Cは、鋼板の強度を確保するために含有されるが、0.02%未満ではX60グレード以上の十分な強度を確保できず、0.08%を超えるとHAZ靱性および耐HIC性を劣化させるだけでなく、誘導加熱による急速加熱時に炭化物の析出を生じるため、DWT特性が著しく劣化する。従って、C量を0.02～0.08に規定する。

CEQ値：0.4%以下

本発明においては、C以外の合金元素を含有してもよい。しかし、 $CEQ = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$ で表されるCEQ値が0.4%を超えると、HAZ靱性およびDWT特性が劣化するため、CEQ値の上限を0.4%とする。CEQ値の下限は特に規定しないが、十分な強度と靱性を得るためには、0.25%以上であることが望ましい。

【0015】好ましい化学成分の範囲としては、上記のC：0.02～0.08%の他、Si：0.50%以下、Mn：0.5～2.0%、P：0.02%以下、S：0.002%以下、sol.Al：0.01～0.10、残部実質的に鉄である。また、必要に応じてNb：0.1%以下、V：0.1%以下、Ti：0.05%以下、Ca：0.0005～0.0040を添加することもできる。また、Ni、Cr、Mo等の合金元素もそれぞれ0.5%以下添加することもできる。

【0016】その後、インラインまたはオフラインで、誘導加熱装置を用いて鋼板に急速加熱の焼戻しを施す。この場合、誘導加熱コイルは、磁束が鋼板の板面に平行となるように配置し、表層のみを加熱できるソレノイド型の誘導加熱装置を用いる。ここで、周波数：200～2000Hz、電力密度100W/cm²以上の条件で鋼板を急速加熱するが、以下に誘導加熱条件の説明を行う。

【0017】周波数：200～2000Hz

10 加速冷却または直接焼き入れによって製造された鋼板は、表層から数mm程度の範囲で硬度が上昇しているため、誘導加熱によって硬度を低下させるためには、硬化層の深さに応じて十分な浸透深さ（発熱する領域の深さ）を得る必要がある。誘導加熱コイルの周波数が2000Hzを超えると、浸透深さが小さくなり、極表層部のみのしか加熱されないため、表面硬度は低下するものの、少し内部では軟化が不十分となる。また、周波数が200Hzより低いと、浸透深さが深くなりすぎ、鋼板中心部まで加熱されるために、DWT特性が劣化する。よって、誘導加熱の周波数は200～2000Hzに規定する。

【0018】電力密度：100W/cm²以上

20 誘導加熱での電力密度とは、誘導加熱装置の出力（電力量）を加熱される部分の鋼板表面積で除した値であり、電力密度が大きいほど鋼板表面を高温まで短時間に加熱することが可能であるため、鋼板中央部の加熱を抑制することができる。しかし、電力密度が100W/cm²未満では、表面が加熱されるまでに時間がかかり、熱伝導によって鋼板中央部も温度が上昇するので、DWT特性が劣化する。よって、電力密度を100W/cm²以上に規定する。

【0019】本発明では、強度低下やDWT特性の劣化をまねくことなく、表面硬度を確実に低下させることを目的として、鋼板表面の加熱温度が500～680℃の範囲となる急速加熱を行う。以下に、その理由について説明する。

【0020】鋼板表面の加熱温度：500～680℃

40 加速冷却または直接焼き入れした低C鋼の表層部は、マルテンサイトまたは下部ベイナイトを含んだ組織となるため硬化するが、焼き戻しを行うことでマルテンサイトまたは下部ベイナイトが分解され、硬度が低下する。しかし、鋼板表面の加熱温度が500℃未満ではマルテンサイトまたは下部ベイナイトの分解が遅いため、急速加熱によって十分に軟化することができない。また、加熱温度が680℃を超えると、鋼板中心部の温度も上昇するため、強度の低下やDWT特性の劣化をまねく。好ましくは、660℃以下である。よって、急速加熱による鋼板表面の加熱温度を500～680℃に規定する。

50 【0021】急速加熱後の冷却については、空冷でもDWT特性の劣化は見られず、冷却速度を特に規定する必要

はない。但し、板厚35mm程度を超えるような厚鋼板において、冷却速度が遅くなり、炭化物の凝集粗大化による韌性劣化が懸念される場合は、再加熱処理後に水冷やミスト冷却を行ってもよい。

【0022】鋼板表層部最高硬さ：Hv220未満
耐サワー性の観点から、NACE規格ではHv \leq 248、DIN規格ではHv \leq 220が規定されているが、ラインパイプ用原板としては、パイプ成形時の加工硬化を考慮して、さらに低めにする必要がある。このため、Hv220未満、好ましくはHv200以下であることが望ましい。

【0023】降伏強度：413MPa以上
高強度ラインパイプ用鋼として、本発明ではX60以上の強度レベルを対象とする。このため、X60ではYS \geq 413MPa、X65ではYS \geq 448MPaである。

【0024】

【発明の実施の形態】鋼板の製造方法としては、上記のC含有量と、CEQ値の規定を満足していれば、加速冷却または直接焼き入れによる表面硬化層が軟化でき、耐サワー性に優れ鋼板が得られるため、目標とする強度、韌性に応じた化学成分を含有することができる。また、

【0025】圧延については、強度と韌性のバランス等の観点からは、制御圧延法により製造することが好まし*

*い。その場合、スラブ加熱温度は、Nb等の微量添加元素が固溶するよう好ましくは1000℃以上とし、オーステナイト粒の粗大化を防ぐため好ましくは1200℃以下とする。また、オーステナイトの未再結晶域の合計圧下率（CR圧下率）を30%以上することが、組織微細化による低温韌性向上の観点から好ましい。

【0026】圧延後は、引続き加速冷却又は直接焼き入れを行う。その際、急冷（水冷）開始温度は、ポリゴナルフェライトの生成を防止するため、少なくともAr₃-50℃以上とすることが好ましい。急冷は、高強度でHIC特性に優れたベイニティックフェライト組織を得るために行う。

【0027】冷却停止は、狙いの強度と成分から決定されるが、650℃を超える停止温度ではポリゴナルフェライト組織となってしまう。したがって、急冷停止温度は、室温以上650℃以下の範囲が好ましい。

【0028】

【実施例】本発明の実施例について述べる。表1に示す化学成分の鋼を溶製して、スラブに铸造し、加熱炉で加熱後、制御圧延を行って種々の板厚の鋼板を製造した。ここで、鋼A～Cは化学成分が本発明の範囲であるが、鋼DはC含有量が高く、鋼EはCEQ値が高い。

【0029】

【表1】

鋼種	mass%																備考
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Ti	Ca	Ca/S	CEQ	Ar ₃ (℃)	
A	0.062	0.24	1.40	0.010	0.0015	0.22	0.20	0.01	0.25	0.045	0.061	0.014	0.0037	2.5	0.388	743	本発明例
B	0.039	0.30	1.30	0.011	0.0008	0.28	0.18	0.05	0.18	0.030	0.040	0.009	0.0032	4.0	0.340	763	
C	0.050	0.16	1.35	0.007	0.0004	0.18	0.13	0.04		0.026	0.044	0.010	0.0018	4.0	0.312	775	
D	0.098	0.26	1.32	0.009	0.0005				0.22	0.035	0.053	0.011	0.0015	3.0	0.371	757	比較例
E	0.062	0.33	1.75	0.006	0.0008	0.18	0.23	0.03	0.16	0.030	0.043	0.009	0.0023	2.9	0.428	721	

下線部：発明範囲外

【0030】圧延後の鋼板は、引続き加速冷却し、次いで、ソレノイド型誘導加熱炉またはガス燃焼式の雰囲気炉で焼戻しを行った。鋼板の圧延、冷却条件及び焼戻し条件を表2に示す。なお、誘導加熱での電力密度は、加熱時投入電力を加熱帯の鋼板表面積で除した値である。

また、焼戻し時の鋼板表面温度は、誘導加熱または炉加熱が終了した直後に放射温度計で測定した鋼板表面の温度である。

【0031】

【表2】

No.	板厚 (mm)	鋼種	加熱 温度 (°C)	CR開始 温度 (°C)	CR 圧下率 (%)	圧延仕 上温度 (°C)	水冷開 始温度 (°C)	冷却停 止温度 (°C)	冷却 速度 (°C/s)	焼戻し法	誘導加熱コイル の周波数 (Hz)	誘導加熱時 の電力密度 (W/cm ²)	焼戻し時の 鋼板表面温度 (°C)	備考
1	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	高周波誘導加熱	500	350	660	本 発 明 例
2	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	"	1000	350	660	
3	28	A	1080	860	75	810	770	520	28	"	1000	350	660	
4	28	A	1080	860	75	780	750	530	28	"	1000	350	520	
5	28	A	1080	860	75	810	770	500	28	"	1000	510	620	
6	22	B	1130	870	75	840	750	530	34	"	1000	350	640	
7	22	B	1130	870	75	840	750	530	34	"	1000	190	620	
8	18	B	1140	900	75	870	750	500	40	"	1000	350	640	
9	18	B	1140	900	75	870	750	500	40	"	2000	280	610	
10	14	C	1180	920	75	870	740	510	50	"	1000	350	640	
11	14	C	1160	920	75	870	740	350	50	"	1000	510	660	
12	14	C	1180	920	75	870	760	530	50	"	1000	350	580	
13	12	C	1180	—	—	930	770	550	60	"	1000	350	640	比 較 例
14	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	高周波誘導加熱	5000	350	660	
15	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	高周波誘導加熱	1000	350	720	
16	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	高周波誘導加熱	1000	350	470	
17	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	焼戻し無し	—	—	—	
18	33	A	1050	800	75	780	750	530	17	炉加熱(雰囲気炉)	—	—	640	
19	33	A	1050	800	75	780	750	500	17	炉加熱(雰囲気炉)	—	—	660	
20	22	B	1130	870	75	840	750	510	34	高周波誘導加熱	1000	350	450	
21	22	B	1130	870	75	840	750	530	34	高周波誘導加熱	100	280	640	
22	22	B	1130	870	75	840	750	530	34	高周波誘導加熱	1000	80	640	
23	22	B	1130	870	75	840	750	530	34	焼戻し無し	—	—	—	
24	22	B	1130	870	75	840	750	550	34	炉加熱(雰囲気炉)	—	—	640	
25	14	C	1180	920	75	870	740	530	50	焼戻し無し	—	—	—	
26	14	C	1180	920	75	870	740	530	50	炉加熱(雰囲気炉)	—	—	640	
27	28	D	1100	860	75	820	770	550	28	高周波誘導加熱	1000	350	660	
28	33	E	1080	820	75	800	760	530	17	高周波誘導加熱	1000	350	660	

下線部：発明範囲外

【0032】次に、これらの鋼板について、引張特性、最高硬さ、耐HIC性、及びDWTT特性を調べた。引張特性は圧延方向と垂直方向から採取した全厚引張試験片により測定した。最高硬さは、荷重10kgのビッカース硬さ試験機によって鋼板の板厚方向断面の硬さを1mmピッチで測定し、その表層部での最高値を最高硬さとした。耐HIC性は、pHが約3の硫化水素を飽和させた5%NaCl+0.5%CH₃COOH水溶液(通常のNACE溶液)中で行ったHIC試験により調べた。DWTT特性は、API規格のプレスノッチ

試験片によるDWTT試験(Drop Weight Tear Test)を行い、延性破面率が85%となる温度(85%SATT)で評価した。

【0033】鋼板の引張特性、最高硬さ、耐HIC性、及びDWTT特性を、表3に示す。ここで、強度はAPI X65グレードとして要求される降伏強度448MPa以上を目標とし、最高硬さはHV200、耐HIC性はHIC試験で割れ長さ率(CLR)が10%以下、DWTTは-30℃以下を目標とした。

【0034】

【表3】

No.	板厚 (mm)	鋼種	焼戻し法	誘導加熱コイル の周波数 (Hz)	誘導加熱時 の電力密度 (W/cm ²)	焼戻し時の 鋼板表面温度 (°C)	降伏 強度 (MPa)	引張 強度 (MPa)	表層部 最高硬さ (HV)	耐HIC性能 CLR (%)	DWTT 85% _{SATT} (°C)	備考
1	33	A	高周波誘導加熱	500	350	660	475	538	194	6	-45	本 発 明 例
2	33	A	"	1000	350	660	492	545	189	6	-45	
3	28	A	"	1000	350	660	540	625	185	2	-40	
4	28	A	"	1000	350	520	486	598	180	0	-45	
5	28	A	"	1000	510	620	553	634	192	3	-45	
6	22	B	"	1000	350	640	486	582	182	0	-45	
7	22	B	"	1000	190	620	494	578	186	0	-50	
8	18	B	"	1000	350	640	518	620	186	0	-50	
9	18	B	"	2000	280	610	532	635	192	0	-45	
10	14	C	"	1000	350	640	515	598	190	3	-35	
11		C	"	1000	510	660	542	625	196	0	-40	
12	14	C	"	1000	350	580	543	618	193	0	-40	
13	12	C	"	1000	350	640	593	612	190	5	-30	
14	33	A	高周波誘導加熱	5000	350	660	483	552	211	5	-50	比 較 例
15	33	A	高周波誘導加熱	1000	350	720	425	495	183	3	-25	
16	33	A	高周波誘導加熱	1000	350	470	490	541	220	0	-45	
17	33	A	焼戻し無し	—	—	—	500	548	224	6	-45	
18	33	A	炉加熱(真空炉)	—	—	640	478	538	198	5	-30	
19	33	A	炉加熱(真空炉)	—	—	660	442	501	185	5	-15	
20	22	B	高周波誘導加熱	1000	350	450	492	583	208	0	-40	
21	22	B	高周波誘導加熱	100	280	640	436	550	192	6	-25	
22	22	B	高周波誘導加熱	1000	80	640	468	573	188	4	-20	
23	22	B	焼戻し無し	—	—	—	488	580	232	0	-35	
24	22	B	炉加熱(真空炉)	—	—	640	492	564	195	0	-20	
25	14	C	焼戻し無し	—	—	—	511	603	238	3	-35	
26	14	C	炉加熱(真空炉)	—	—	640	503	577	198	4	-15	
27	28	D	高周波誘導加熱	1000	350	660	563	651	195	45	-5	
28	33	E	高周波誘導加熱	1000	350	660	612	683	192	0	-10	

下線部：発明範囲外、特性値目標外

【0035】表3より明らかなように、周波数200～2000Hz、電力密度100W/cm²以上の高周波誘導加熱により焼戻しを行った本発明鋼板No.1～13においては、良好な引張特性、耐HIC性、及びDWTT特性が得られ、かつ、HV200以下の最高硬さが得られている。

【0036】これに対して、比較鋼板No.14～28においては、機械的特性、表層部最高硬さ、耐HIC性、又はDWTT特性のいずれかが劣っている。

【0037】鋼板No.14～16は高周波誘導加熱により焼戻しを行ったが、No.14は周波数が高すぎるため、最表層部高度が低下していたが、少し内部の硬さは低減できないため、表層部の最高硬さが高い。No.15は焼戻し時の表面加熱温度が高すぎるため、DWTT特性が劣化した。No.16は焼戻し時の表面加熱温度が低すぎるため、表層部の軟化が不十分であった。

【0038】また、比較鋼板No.17は焼戻しを行っていないため、表層部が著しく硬化している。No.18, 19は炉加熱により焼戻しを行っているため、表面硬度は低下するが、DWTTが劣化した。No.20～22は高周波誘導加熱

により焼戻しを行ったが、No.20は焼戻し時の表面加熱温度が低すぎるため、表層部の軟化が不十分であった。No.21は周波数が低すぎるため、鋼板内部まで加熱され、強度及びDWTT特性が低下した。No.22は誘導加熱の電力密度が低すぎるため、熱伝導によって内部まで加熱されDWTT特性が低下した。

【0039】比較鋼板No.23～26は焼戻しを行わないか、または炉加熱による焼戻しを行っているため、表層部最高硬さが高いか、またはDWTT特性が劣っている。No.27, 28は本発明の範囲の誘導加熱による焼戻しを行っているが、鋼板の成分が本発明範囲を外れているため、耐HIC特性またはDWTT特性が劣っている。

【0040】

【発明の効果】本発明は、加速冷却又は直接焼入れ後の鋼板を、高周波加熱により急速加熱することにより、表層のみを軟化させることができる。その結果、本発明により耐サワー性の優れた高強度パイプライン用鋼を安価に大量生産することが可能となり、パイプラインの安全性を著しく向上させることができる。

フロントページの続き

(72)発明者 石川 信行
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日
本鋼管株式会社内

F ターム(参考) 3K059 AA08 AB26 AC72 CD53
4K032 AA01 AA04 AA08 AA11 AA16
AA19 AA22 AA23 AA27 AA29
AA31 AA35 AA36 BA01 CA02
CB01 CB02 CC03 CC04 CD03
CD06 CE00 CF00